

University of Groningen

Mechanisms for photonic switching in systems of strongly interacting dipoles

Klugkist, Joost André

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2008

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Klugkist, J. A. (2008). *Mechanisms for photonic switching in systems of strongly interacting dipoles*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. [s.n.].

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

In dit proefschrift bestuderen we mechanismen voor ultra-kleine licht schakelaars. Toepassing van dit soort mechanismen kan de weg vrijmaken voor nieuwe klassen van optische materialen, waarin op nanometerschaal de transmissie van licht aan- en uitgeschakeld kan worden. De controle van de gang van licht door micro- en nanometerschaal optische materialen vormt een belangrijk onderwerp van onderzoek. Onderzoek in dit vakgebied is van groot belang voor onder andere optische informatieverwerking en kan mogelijk leiden tot de ontwikkeling van computers die gebruikmaken van optische schakelingen (vgl. de huidige generatie computers, die de informatieoverdracht bewerkstelligt door middel van elektronische schakelingen).

Door wisselwerkingen tussen een groot aantal identieke bouwstenen kunnen zich interessante fenomenen voordoen. Hierbij kan men bijvoorbeeld denken aan de bijzondere eigenschappen van water, die pas bij een groot aantal watermoleculen aan het licht komen. Zonder wisselwerking kan geen collectiviteit optreden. De optische fenomenen die we in dit proefschrift hebben onderzocht zijn collectieve eigenschappen van configuraties van elektrische dipolen. Een elektrische dipool is één van de meest eenvoudige systemen om de wisselwerking tussen licht en materie te beschrijven. Een elektrische dipool wordt gevormd door een dicht bij elkaar staande positieve en negatieve lading. Zoals een magnetische dipool gericht kan worden door een magnetisch veld, kan een elektrische dipool worden gericht door een elektrisch veld.

Op moleculair niveau kan de elektronenwolk rond het molecuul met de positieve atoomkernen een dipool vormen. Door absorptie van licht kan bovendien een dipoolmoment in een molecuul worden geïnduceerd. De energie van een foton wordt opgeslagen in de veranderde elektronen-configuratie van het molecuul (als potentiële energie). Het molecuul is dan van de energetisch meest gunstige toestand (de *grondtoestand*) in een aangeslagen toestand gebracht. De grootte van het geïnduceerde dipoolmoment wordt overgangsdipool genoemd. Stoffen met grote overgangsdipolen hebben een sterke wisselwerking met licht.

Een molecuul met een overgangsdipool kan in de meest eenvoudige benadering

worden beschreven als een systeem met twee niveaus: een toestand met een lage energie - de grondtoestand - en een toestand met een hogere energie, die bereikt kan worden door absorptie van licht - de aangeslagen toestand. Kleurstoffen zijn stoffen die grote overgangsdipoolmomenten hebben, waardoor ze een sterke wisselwerking met licht hebben.

In hoofdstuk twee beschrijven we in detail de uitzonderlijke optische eigenschappen van clusters (ook wel moleculaire aggregaten genoemd) van kleurstof-moleculen. De moleculen in het cluster worden door electrostatische krachten bij elkaar gehouden. De optische eigenschappen van deze clusters verschillen sterk ten opzichte van de optische eigenschappen van een enkel kleurstof-molecuul. Dit kan inzichtelijk worden gemaakt door het volgende vereenvoudigde beeld: een electromagnetisch veld (licht) zorgt voor een trillende electronenconfiguratie, die een trillende dipool ten opzichte van de positieve kernen vormt. Deze induceert ook trillingen in naburige kleurstof-moleculen. Het veld brengt het cluster in een collectieve aangeslagen toestand. De collectieve toestanden van het cluster hebben een veel groter overgangsdipoolmoment dan de individuele moleculen. Daardoor hebben deze clusters van kleurstof-moleculen een bijzonder sterke wisselwerking met licht, waardoor het een interessant studie-object is.

In hoofdstuk drie en vier laten we zien dat een dunne laag van moleculaire aggregaten als een volledig optische schakelaar kan werken. Licht met een lage intensiteit wordt door deze dunne laag volledig gereflecteerd. Deze reflectie is het gevolg van de sterke absorptie van de moleculaire aggregaten. De hoeveelheid energie die de film kan opslaan is echter beperkt. Licht met een hoge intensiteit kan de film verzadigen, waardoor een bijna volledige transmissie van het licht optreedt. Door het systeem met een externe lichtpuls te verzadigen, kan de transmissie van andere lichtbronnen worden geregeld.

In hoofdstuk vijf, zes en zeven onderzoeken we eigenschappen van wanordelijke moleculaire ketens. Deze wanorde is het gevolg zijn van de chaotische omgeving rond de ketens. Er wordt gekeken hoe materiaal-eigenschappen afhangen van de mate van wanorde. Door bepaalde karakteristieken te schalen als functie van de sterkte van de wanorde laten we zien dat deze eigenschappen in feite niet veranderen. Ondanks de willekeur kunnen er toch heel algemene uitspraken over deze systemen worden gedaan, die niet afhangen van de sterkte van de wanorde. In deze drie hoofdstukken wordt verder aandacht geschonken aan experimenten waarbij de absorptie van licht door de ketens wordt gemeten. In het bijzonder kijken we naar de verandering van het spectrum van het geabsorbeerde licht als het systeem al energie van een eerdere licht puls heeft opgenomen.

In het laatste deel van dit proefschrift hebben we een zogenaamd fotonisch kristal gemodelleerd. Fotonische kristallen hebben door hun microscopische structuur een sterke wisselwerking met zichtbaar licht. De meeste fotonische kristallen hebben optische eigenschappen die niet veranderd kunnen worden als het kristal eenmaal

gefabriceerd is. Bij bijzondere kristallen kan de doorlaatbaarheid van licht worden veranderd door invloed van buitenaf. Een dergelijk kristal kan als een optische schakelaar worden gebruikt, een belangrijk element in optische informatieverwerking.

Het fotonische kristal dat we onderzocht hebben bestaat uit invallend licht dat interactie heeft met een rooster van Lorentz-oscillatoren. Een Lorentz-oscillator is de meest eenvoudige beschrijving van de interactie tussen licht en materie. Materie wordt voorgesteld door een massa met een positieve lading die met een veer aan een massa met een negatieve lading is bevestigd. Het massa-veer systeem wordt door het electromagnetische veld in beweging gebracht, waardoor een trillende dipool ontstaat. Dit systeem is een elegant model om de licht-materie interactie te beschrijven en te visualiseren.

Wat dit model van een fotonisch kristal bijzonder maakt, is dat een spontane overgang plaatsvindt naar een nieuwe geordende toestand bij voldoende sterke wisselwerking tussen de dipolen en het licht. De dipolen zijn dan verplaatst van hun oorspronkelijke evenwichtspositie, zodat de symmetrie van het oorspronkelijke kristal is gebroken. Dat er een faseovergang plaats kan vinden, was al langer bekend, maar dit was nog niet eerder in de context van fotonische kristallen geplaatst. De optische eigenschappen veranderen als er een structuurverandering plaatsvindt.

Een interessante mogelijkheid doet zich voor nabij de faseovergang. De dipolen zijn dan sterk te beïnvloeden door een extern elektrisch veld. Met het externe veld kan de lichtdoorlaatbaarheid van het kristal worden beïnvloed, zodat het als een optische schakelaar kan worden gebruikt.

